

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Химическая технология переработки нефти и газа  
Отделение химической инженерии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы	
<b>Исследование активности высокодисперсных порошков железа в синтезе жидких углеводов в GTL процессе</b>	

УДК 661.715:662.76621.762:669.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Галанин Ярослав Константинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Попок Евгений Владимирович	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.ЭК.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Король Ирина Степановна	К.Х.Н		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение химической инженерии	Кузьменко Елена Анатольевна	К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <b>выводить на рынок новые материалы</b> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 18.03.01. «Химическая технология» (Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов)

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
<b>3-2Д33</b>	<b>Галанину Ярославу Константиновичу</b>

Тема работы:

<b>Исследование активности высокодисперсных порошков железа в синтезе жидких углеводородов в GTL процессе</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№2589 от 13.04.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Электровзрывные катализаторы на основе железа для синтеза углеводородного сырья из (CO + H<sub>2</sub>), полученные в атмосфере различных газов (CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>).</p> <p>Каталитическая установка, работающая при повышенном давлении.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в</i></p>	<p>Аналитический обзор по использованию нетрадиционных катализаторов (электровзрывных, плаз-мохимических) в синтезе углеводородного сырья. Обзор реализованных в промышленности технологий синтеза углеводородов из CO и H<sub>2</sub>.</p>

<p>рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>исследование каталитической активности образцов катализатора в различных технологических условиях;</li> <li>Определение общей степени конверсии монооксида углерода.</li> <li>качественный и количественный анализ полученных жидких продуктов синтеза методом хроматографии;</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p>(с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Конструкции реакторных устройств, реализованных в промышленности</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p>(с указанием разделов)</p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н, Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Доцент, Король Ирина Степановна
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.01.2018 г.
--	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Попок Е.В.	к.т.н., доцент		15.01.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Галанин Я.К.		15.01.2018

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д33	Галанин Ярослав Константинович

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология, профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Проведение оценки экономической эффективности порошков железа в синтезе по методу Фишера-Тропша
4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Галанин Ярослав Константинович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Д33	Галанин Ярослав Константинович

<b>Институт</b>		<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология топлива

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования – железный электровзрывной катализатор синтеза Фишера-Тропша</p> <p>Методика – изучение физико-химических параметров катализатора.</p> <p>Рабочая зона – лабораторное помещение кафедры ХТТХК ТПУ.</p> <p>Область применения – химическая промышленность, использующая GTL-технологии.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины,</li> </ul>	<p>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.</p> <p>1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.</p> <p>1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>

профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	
<b>2. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду. 2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду. 2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. 3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. 3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, Отделение контроля и диагностики	Король Ирина Степановна	к.х.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Галанин Ярослав Константинович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 83 с., 6 рис., 26 табл., 37 источников.

Ключевые слова: синтез Фишера-Тропша, синтез-газ, ультрадисперсный порошок железа, альтернативные источники энергии, углеводородный состав

Объектом исследования является железный катализатор синтеза Фишера-Тропша, полученный методом электрического взрыва проводника в среде окиси углерода.

Цель работы – изучение каталитической активности в синтезе жидких углеводородов промотированного оксидом алюминия ультрадисперсного порошка железа, полученного методом электрического взрыва проводника.

В ходе исследования на первом этапе был получен железный катализатор из ультрадисперсного порошка железа. На втором этапе проводилось исследование полученного катализатора на каталитической установке.

В результате исследования были получены данные об активности катализаторных систем на основе УДП железа, зависимости выхода продуктов и их состав от условий процесса.

Область применения – химическая промышленность, выпускающая продукцию по методу Фишера-Тропша или другое производство, связанное с GTL-технологиями.



## Содержание

Оглавление	
Введение .....	10
1 Литературный обзор.....	12
1.1 Механизм реакций синтеза Фишера-Тропша .....	12
1.2 Катализаторы процесса .....	16
1.3 Реакторы синтеза Фишера-Тропша .....	22
1.4 Промышленное освоение синтеза Фишера-Тропша .....	26
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	28
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	28
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	29
3.1.3 SWOT-анализ .....	30
3.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	34
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	34
3.2.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	35
3.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ.....	35
3.2.4 Разработка графика проведения научного исследования.....	38
3.2.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	40
3.2.5.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	41
3.2.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для проведения экспериментальных работ .....	42
3.2.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	42
3.2.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	45
3.2.5.5 Накладные расходы .....	45
3.2.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	46
3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	47
4. Социальная ответственность.....	50
4.1 Производственная безопасность .....	50
4.2 Экологическая безопасность .....	57
4.3 Электробезопасность. ....	57
4.4 Пожарная безопасность. ....	59
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	61
4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	63
Литература .....	66

## ВВЕДЕНИЕ

Постоянное ужесточение экологических требований в отношении нефтедобывающих предприятий обуславливает поиск и развитие технологий, позволяющих перерабатывать попутные нефтяные газы в ценные химические продукты и высококачественные топлива (Gas to liquid processes, GTL). Не менее важным вопросом в условиях поиска альтернативных источников энергии является переработка твердых горючих ископаемых и биомассы в жидкие топлива. Синтез Фишера-Тропша (синтез жидких углеводородов из смеси оксида углерода и водорода или иначе «синтез-газа») является второй стадией переработки альтернативных источников углеводородов (попутного газа, угля, биомассы и т.д.) при получении в получении топливных фракций. Данная стадия является важнейшей для всего процесса, так как определяет выход и состав образующихся углеводородов, а так же необходимость и способ их облагораживания.

Чрезвычайно важным этапом проектирования установки GTL является подбор высокопроизводительной каталитической системы, позволяющей не только обеспечивать высокие степени конверсии исходных газов, но и необходимую селективность по целевым продуктам [1]. В качестве катализаторов в синтезе Фишера-Тропша нашли применение металлы VIII группы – железо, кобальт, никель, рутений.

Промышленное распространение получили каталитические системы на основе железа и кобальта, причем катализаторы на основе железа целесообразнее использовать в процессах где синтез-газ получают из угля, а на основе кобальта – где из природного и попутного газа. Железосодержащие катализаторы отличаются широким распределением продуктов и особенно высокой селективностью к образованию кислородсодержащих соединений и олефинов. Действующие технологии промышленного синтеза альтернативных жидких топлив компаний Shell и Sasol основаны на железосодержащих катализаторах.

Ранее авторами работы проводились исследования в области синтеза жидких углеводородов из CO и H<sub>2</sub> на ультрадисперсных железных катализаторах, полученных методом электрического взрыва порошка. Свойства электровзрывных железных порошков подробно описаны в работе.

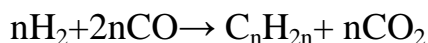
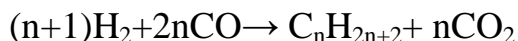
Целью данного исследования было изучение каталитической активности в синтезе жидких углеводородов промотированного оксидом алюминия ультрадисперсного порошка железа, полученного методом электрического взрыва проводника.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

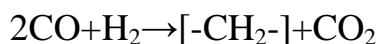
## 1.1 Механизм реакций синтеза Фишера-Тропша

Синтез Фишера-Тропша является гетерогенно-каталитическим процессом, в котором активную роль компонентов катализаторов проявляют d-элементы VIII группы (Fe, Co, Ni, Ru). Синтез включает большое количество параллельных и последовательных превращений. Выбор катализатора и условий проведения процесса влияет на механизм реакции и возможность получения продуктов: парафинов, олефинов, ароматических соединений, спиртов, карбоновых кислот, альдегидов.

Синтез для железосодержащих катализаторов в общем виде можно описать уравнениями [1]:

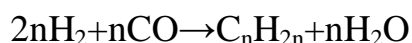
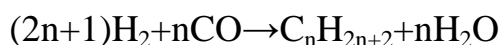


А суммарную реакцию на железосодержащем катализаторе можно представить в виде следующего уравнения:

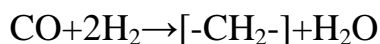


$$-\Delta H^0 = -207,9 \text{ кДж/моль}$$

Стоит отметить реакции, проходящие на кобальтосодержащих катализаторах, как наиболее распространенных наряду с железными:



Аналогично представляется суммарная реакция на кобальтосодержащем:



$$-\Delta H^0 = -165 \text{ кДж/моль}$$

Со времени появления синтеза было предложено большое количество механизмов протекания реакции, что обусловлено сложностью и многостадийностью процесса. Несмотря на давнее знакомство научного сообщества с СФТ и большим количеством зарубежного и отечественного опыта, так же литературы, механизм не изучен с достаточной полнотой, а имеющиеся версии протекания реакций обладают недостатками, в особенности

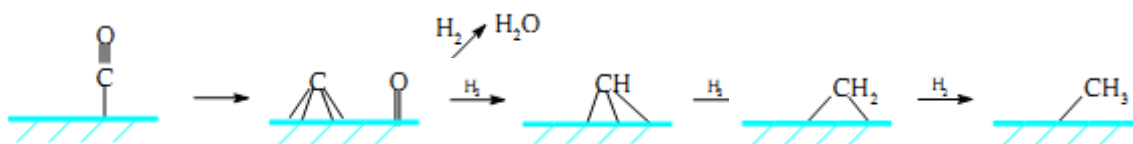
в объяснении получения тех или иных продуктов. Современные представления о механизмах можно свести к следующим версиям, сделанных по природе частиц, обеспечивающих рост цепи:

- Карбидный механизм;
- Механизм внедрения CO;
- Енольный механизм.

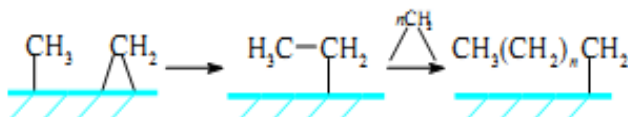
Указанные механизмы обладают общими стадиями образования продуктов: хемосорбция на поверхности катализатора с образованием активных частиц, ростом углеводородной цепи и обрывом этой цепи с десорбцией.

#### 1) Карбидный механизм:

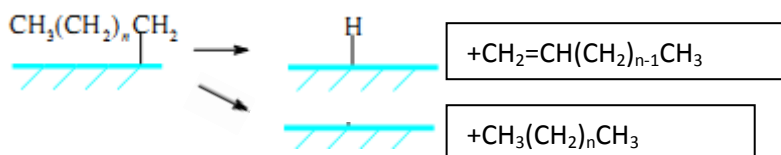
На первой стадии из адсорбированной молекулы CO образуется поверхностный карбид металла, который гидрируется водородом в метилен:



На второй стадии происходит олигомеризация в результате взаимодействия поверхностных метила и метилена, где первый играет роль инициатора процесса, а второй является мономером.



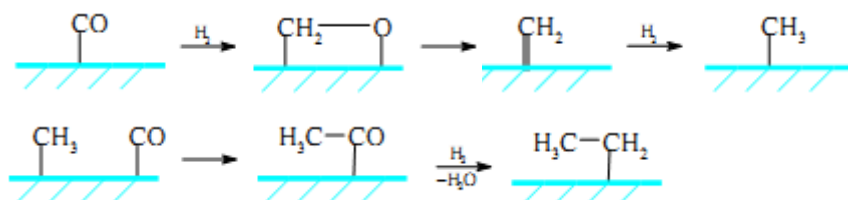
Обрыв цепи происходит в результате десорбции с поверхности катализатора с образованием алкенов либо алканов:



Механизм, предложенный Францем Фишером и Хансом Тропшем, способен объяснить происхождение в продуктах парафинов и олефинов, но не способен объяснить происхождение кислородосодержащих продуктов [2].

#### 2) Механизм внедрения CO:

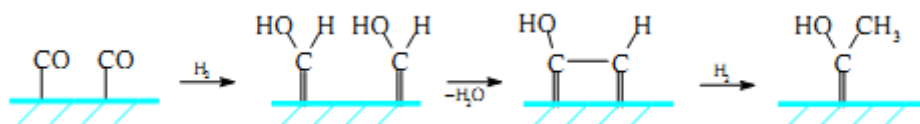
Сам механизм предполагает, что С—С-связь будет образована при помощи внедрения СО по связи алкил-металл. На первой стадии образуется алкил-интермедиат, а в процессе увеличения углеродной цепи, СО внедряется в связь метил-метал, в результате образуется кислородосодержащий интермедиат, который восстанавливается до этил-интермедиата. Процесс продолжается до обрыва с образованием парафинов, олефинов и спиртов.



Механизм внедрения способен показать процесс образования кислородосодержащих углеводородов.

### 3) Енольный механизм:

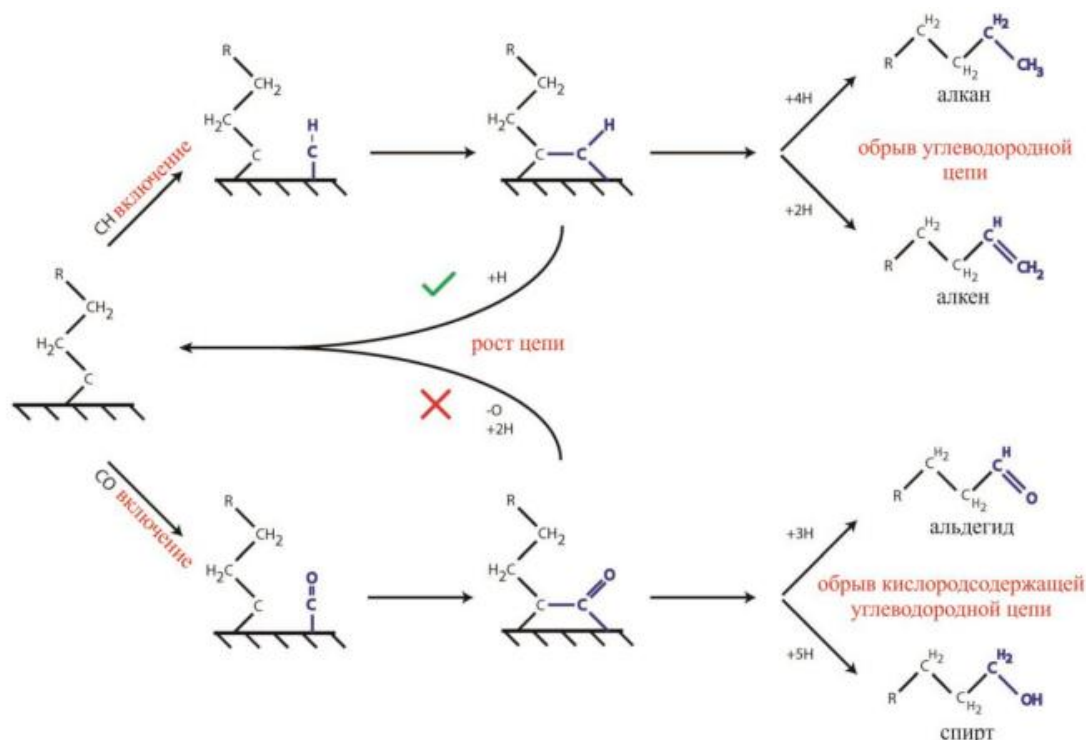
Первая стадия заключается в образовании на поверхности катализатора гидроксикарбеновых интермедиатов путем гидрирования адсорбированного на металле СО. В результате поликонденсации образуются С-С-связи гидроксиполиметиленового интермедиата, который инициирует образование продуктов синтеза в процессе наращивания углеродного скелета и десорбции с поверхности катализатора.



Енольный, как и предыдущий, механизм не только объясняет возможность образования олефинов и парафинов в синтезе Фишера-Тропша, но так же спиртов и альдегидов.

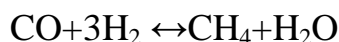
В защиту каждого из механизмов накоплен богатый материал, полученный экспериментальным путем. Но стоит отметить, что между ними невозможно сделать определенный выбор. Поэтому предлагаются более сложные механизмы. Составляемые из перечисленных выше трех, они делают попытки в полной мере объяснить распределение углеводородов, в том числе кислородосодержащих продуктов.

Примером такого современного представления механизма может послужить работа нидерландских ученых.



Работа основывается на механизме внедрения карбидных частиц и предполагает внедрение CO частиц в растущей углеродной цепи, благодаря чему образуются кислородосодержащие соединения.

Побочные реакции образование метана в процессе гидрирования окиси углерода свойственны при использовании никелевых и кобальтовых катализаторов:



В свою очередь железные катализаторы обладают меньшей способностью к гидрированию, что сказывается на выходе нежелательного продукта к его уменьшению.

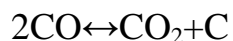
Один из продуктов синтеза – вода, вступает в реакции с монооксидом углерода по реакции паровой конверсии CO [3]:



Реакция характерна для железосодержащих катализаторов. В связи с этим железные катализаторы могут использоваться в процессах с низким

содержанием водорода в синтез-газе. Так же данную реакцию можно подавлять, например, выводом воды из реакционного процесса.

Процесс может быть осложнен образованием углерода на поверхности катализатора по реакции Белла – Будуара:



Реакция способна привести к дезактивации катализатора за счет блокирования активных центров углеродосодержащими отложениями.

## 1.2 Катализаторы процесса

Катализатор в процессе Фишера-Тропша – один из важнейших компонентов, определяющий возможности направления синтеза, т.е. влияет на состав синтезируемых продуктов. При выборе катализатора стоит учитывать потребности рынка в синтезируемых продуктах и исходном сырье.

В процессе синтеза происходит хемосорбция окиси углерода и водорода на поверхности катализатора, в связи с чем необходимо наличие у металла незаполненной d-орбитали, что является тем условием, при котором активные металлы смогут вступать во взаимодействие с синтез-газом, участвовать в хемосорбции его компоненты.

Катализаторы на основе никеля проявляют большую активность в образовании метана и большого количества соединений с монооксидом углерода.

Для рутениевых катализаторов характерна высокая способность к полимеризации и активность при относительно низких температурах (до 100°C). Также возможно получение высокомолекулярных парафинов, если создать необходимое для этого рабочее давление около 10-20 МПа. При более низких давлениях основным продуктом синтеза является метан. Хотя уже было обнаружено, что типичное распределение продуктов синтеза Фишера-Тропша можно получить в присутствии рутениевого катализатора в более мягких условиях (0,1 - 0,2 МПа,  $t = 200 \div 250^\circ\text{C}$ ). Но эти катализаторы являются очень дорогими.



Катализаторы на железной основе проявляют высокую активность в широком интервале температур (200 - 350°C и выше), что делает их применимыми в высокотемпературных процессах Фишера-Тропша. Промышленное использование железных катализаторов сводится к получению продуктов с большим содержанием олефинов, содержащих значительное количество кислородосодержащих соединений. Так же существуют разработки железоуглеродных и наноразмерных (допированные оксидами алюминия и калия) для селективного производства одноатомных спиртов.

Более привлекающие внимание катализаторы на кобальтовой или железной основе. При выборе между Fe- и Co-катализаторами следует учитывать его стоимость, способность сохранять активность и рассмотреть ассортимент синтезированных продуктов. Первичными продуктами при синтезе на данных катализаторах являются  $\alpha$ -олефины. Но из-за реакционной способности продукты гидрируются, происходят процессы крекинга и изомеризации, что приводит к образованию побочных продуктов. Наибольшую селективность для метода Фишера Тропша при получения топлива проявляют кобальтовые, так как образование кислородсодержащих и ароматических соединений можно свести практически к нулю, а на выходе образуются среднестиллятные фракции. Так же температура для создания условий использования кобальтовых катализаторов ниже железных (200 - 260°C против 240 - 350°C). Результатом реакций водяного газа становится образование дополнительного количества водорода, что особенно свойственно при использовании железного катализатора. Это позволяет использовать железо, если синтез-газ с низким содержанием водорода. В пользу выбора железного катализатора играют такие важные факторы как низкое метанообразование при повышенных температурах, его стоимость, более повышенный выход изопарафинов.

Элементы Ti, V, Cr и Mn в настоящее время не применяются в качестве основы катализаторов промышленного синтеза Фишера-Тропша, в связи с тем, что их оксиды при температуре, необходимой при получении катализатора,

трудно или совсем не восстанавливаются до металла. Тем не менее продолжают исследования. Так в Саудовской Аравии был разработан катализатор Mn-Fe. Для приготовления этого катализатора  $\text{MnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$  был использован метод соосаждения. Промышленное использование Mn-Fe катализатора планируется для переработки в олефины синтез-газа, произведенного из биомасс.

В составе катализатора помимо основного металла используются также добавки – промоторы. Рассматривая принцип действия, их делят на структурные и энергетические. Структурные промоторы - способствующие образованию развитой поверхности катализатора и препятствуют рекристаллизации его активной фазы. Хорошо подойдут трудно восстанавливаемые оксиды алюминия, циркония, титана, магния. Для осажденных катализаторов ими могут представиться такие носители как кизельгур, доломит, диоксид кремния, цеолиты, алюмосиликат. Энергетические промоторы – это те, что способны увеличить скорость реакции и повлиять на ее селективность.

Стоит отметить, что в катализатор можно вводить и другие включения, которые влияют следующим образом:

- Изменяют каталитическую активность формированием на поверхности новых дополнительных активных центров;
- Благодаря взаимодействиям с предыдущими включениями происходит возникновение синергетического эффекта;
- Проявляется независимое влияние от других компонентов на активность катализатора.

Никель может использоваться в роли промотора к кобальту. Стабильность, активность и селективность будет возрастать в зависимости от того, какой состав и тип оксидного носителя используется. Никель вводится пропиткой водным раствором  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  либо другим никельсодержащим, где Ni – двухвалентен, а так же может находиться в растворах содержащем другие применяемые промоторы. Следующим этапом катализатор сушат и

прокаливают, используя температуру до 600°C (чаще всего при 200 - 400°C), Нежелательно образование никелевой шпинели  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  в любом заметном количестве. Количество Ni необходимого для достижения эффекта промотор, различаются для разных каталитических систем в зависимости от таких факторов, как количество кобальта, типа носителя, наличие каких-либо других промоторов или модификаторов, выбор способа получения катализатора.

Использование промоторов предполагает весовое отношение промотор-катализатор от 0,01/1 до 1/1, но предпочтительнее от 0,025/1 до 0,1/1. Содержание кобальта ограничивается в пределах 2-50%.

Для железных катализаторов наиболее используемы в роли промоторов карбонаты щелочных металлов. Ионы щелочного металла попадают под электродонорное влияние атомов железа, расположенных рядом с адсорбируемой частицей, благодаря чему адсорбция ионов щелочного металла проходит легче. В процессе хемосорбции ослабляется связь C-O. В тоже время щелочной металл, отдающий электроны железу, ослабляет связь между ним и водородом, который так же отдает электроны в процессе хемосорбции. Добавка щелочных соединений увеличивает количество хемосорбированного оксида углерода, происходит снижение количества хемосорбированного водорода. Так добавка 0,2–1% (масс.)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (по отношению к железу) способна почти вдвое повысить теплоту хемосорбции CO, что приведет к увеличению количества адсорбированного CO. Одновременно количество адсорбированного водорода и теплота его хемосорбции уменьшатся, что повлияет на селективность процесса следующим образом:

- 1) Увеличится скорость реакций с участием монооксида углерода (как сам синтез, так и конверсия, и реакция Будуара);
- 2) Процесс роста цепей ускоряется, распределение образования продуктов синтеза смещается в сторону молекул с наиболее крупной цепочкой;
- 3) Повышение содержания олефинов в продуктах синтеза;
- 4) Увеличение содержания кислородосодержащих веществ;

## 5) Подавляется метанообразование.

Промоторы на основе магния, лантана и кальция способны повысить поверхностную активность катализатора. Порядок, в котором увеличения активности следующий:  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{La}$ . Некоторое количество этих добавок, рассчитываемое в атомном соотношении  $X/\text{Fe} = 0,02$  (где X это Ca, Mg либо La), способно снизить образование углеродистых отложений на поверхности катализаторов, причем и в процессе восстановления, и в самой реакции. Данные промоторы ингибируют катализаторы к гидрированию, уменьшают процесс метанообразования, улучшают конверсию CO, повышают селективность образования олефинов, а так же продуктов с более высокой молекулярной массой.

Для кобальтовых катализаторов актуальны разработки направленные на поиск более активных катализаторов среди иридия, родия и платины. Было установлено, что при добавлении этих металлов к кобальтовому, нанесенному на оксид алюминия, существенно повышается активность для получения углеводородов из синтез-газа, даже в отсутствии дополнительного металлического или металлооксидного промотора. Выбирая из оксидов алюминия, предпочтительней использовать гамма-окись алюминия. Несмотря на собственную активность платины, иридия и родия как катализаторов Фишера-Тропша, явного улучшения каких-либо параметров при использовании благородных металлов с кобальтовыми катализаторами не происходит, если каталитическим компонентом выбран не оксид алюминия, например,  $\text{SiO}_2$  или  $\text{TiO}_2$ .

На сегодняшний день мы имеем широкий спектр направлений по разработке тех или иных нюансов в процессах, проходящих в синтезе методом Фишера-Тропша, большая часть которых относится к теме катализаторов, и большой объем интересной литературы касающейся этих направлений. Например, работы описывающие применение Ti в роли модификатора катализаторов на основе кобальта [4], рутения [5], родия [6], церия (в форме  $\text{TiO}_2$ ) [7, 8]. Существует интерес к катализаторам на основе комбинирования

родия с никелем [9]. Так же активно продолжают разработки в исследовании «классических» металлов, в том числе того же никеля. Некоторое внимание исследователей привлекает рутений наличием эффекта ступенчатой поверхности [10-12]. Стоит отметить, что исследование новых металлов на каталитические возможности довольно трудоемким процессом, ведь небольшие изменения связанные с химическим составом, могут сильно повлиять на выход и селективность продуктов: добавление платины к кобальтовой основе усиливает активность [13], но некоторое увеличение концентрации металла приводит к повышению образования метилового спирта [14].

Целью включения одних добавок может быть повышение активности и селективности, например, модификация наночастиц рутения с ионными добавками, в зависимости от добавок, смещает селективность в сторону образования высокомолекулярных парафинов, олефинов, спиртов [15]. Другие применяются для защитных функций катализатора от отравлений углеродом [16-17] или серой [18].

Катализатор, основой которого является состав Fe-Mn-V-K, способствует получению на выходе алкенов, как утверждает источник [19, 20]. Железо-марганцевые наночастицы наносимые на углеродные нанотрубки так же способствуют образованию алкенов [21]. Углеводородные разветвленные продукты могут образовываться путем алкилиденевого механизма с использованием катализаторов, имеющих состав Fe-Si-K и Co/SiO<sub>2</sub> [22].

Активность и селективность катализаторов, имеющих многокомпонентный состав определяются не только химическим составом катализатора, но и такими факторами как температура [48] или окислительно-восстановительные свойства компонентов катализатора, регулируемые промоторами [23, 24]. Некоторые факторы, которые влияют на синтез, описаны в [25]. Зависимость размера частиц катализатора параметры процесса можно прочесть в [26, 27], а исследования по размерным эффектам кобальтового катализатора модифицированного платиной можно узнать в [28].

Одним из важнейших вопросов синтеза Фишера-Тропша является распределение углеводородов по молекулярной массе, связанное с законом Андерсона-Шульца-Флори [29]. Контроль средней молекулярной массы продуктов синтеза Фишера-Тропша исследовал Ходаков Ю., используя нанореакторы с инкорпорированными наночастицами [30].

### **1.3 Реакторы синтеза Фишера-Тропша**

Для технической реализации синтеза Фишера-Тропша можно использовать три варианта реактора: со стационарным, псевдосжиженным или суспендированным слоем катализатора. Конструкция реактора определяется теми продуктами, для которых он предназначается.

Основными требованиями к реакторам синтеза Фишера-Тропша являются: обеспечение высокой скорости реакций, изотермичность, высокоэффективный теплоотвод, минимальное отравление катализатора, а также простота конструкции и эксплуатации.

Для современных реакторов Фишера-Тропша характерно использование двух температурных режимов – высокотемпературного (300 – 360 °C) и низкотемпературного (200 – 250 °C). Для железных катализаторов используется высокотемпературный режим, при котором идет образование бензина и линейных низкомолекулярных олефинов. Использование низкотемпературного режима с катализатором кобальтового или железного состава позволяет получать высокомолекулярные линейные воски.

Для реакторов со стационарным слоем катализатора характерно: проведение процессов в реакторах трубчатого типа, катализатор у которых располагается в трубах, а межтрубное пространство оборудовано для охлаждения и отвода выделяющегося во время реакции тепла. Использование реакторов со стационарным слоем катализатора невозможно без систем охлаждения, в виду высокой экзотермичности реакции, так как перегревы вызывают изменения в катализаторе, ведущие к невозможности его использования [31]. Испарение жидкости межтрубного пространства является

лучшим способом отведения тепла из системы синтеза. Подача синтез-газа осуществляется сверху вниз, процесс проводится при повышенном давлении. Чувствительность к перегревам делает такие способы ускорения процесса как более быстрая подача синтез-газа или увеличение температуры невозможными [32].

Главным преимуществом реакторов со стационарным каталитическим слоем является его довольно простое эксплуатирование: отсутствуют проблемы с отделением катализатора, ограничений в получаемых продуктах нет. Тем не менее существует ряд недостатков: металлоемкость довольно высока, перегрузка катализатора проходит довольно сложно, давление заметно перепадает по длине, крупные зерна катализатора диффузионно ограничены. От катализатора требуется высокая теплопроводность для эффективности транспортировки тепла реакции.

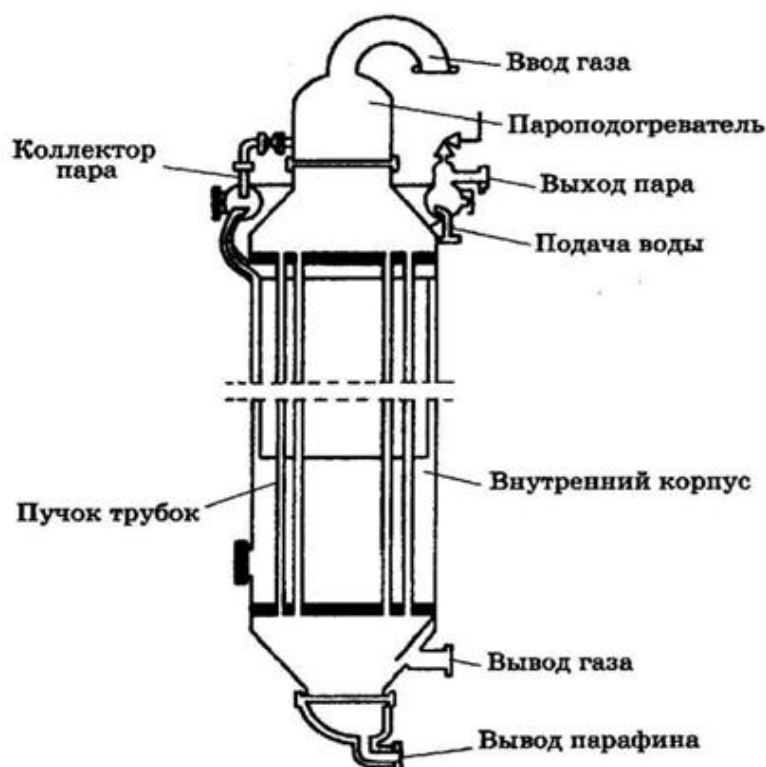


Рисунок 1. Реактор с неподвижным слоем катализатора:

Реакторы с суспензированным слоем катализатора (сларри реакторы). Для процесса синтеза характерно использование барботажных колонн, которые загружаются измельченным катализатором, суспензированным в жидкости. При

таком коллоидном состоянии катализатора, синтез-газ проходит через него маленькими пузырьками. Отведение теплоты происходит за счет испарения в трубах теплообменника. Регулирование температуры происходит давлением насыщенного водяного пара. Ограничения диффузионных процессов в таких реакторах носят минимальный характер за счет развития поверхности массообмена на границах газовых пузырьков. Следствием увеличения скорости газового потока становится коагуляция пузырьков газа, в свою очередь, приводящая к уменьшению поверхности массообмена. Реакторы способны обеспечивать хороший тепло-отвод и изотермичность процесса. За счет интенсивного перемешивания и малого размера частиц увеличивается производительность катализатора почти в четыре раза, если рассматривать один объем катализатора. Но из-за того, что катализатор в реакторе занимает совсем немного места, то и в общем производительность находится на том же уровне, что и предыдущий реактор, и составляет около 100 кг продукта на 1 м<sup>3</sup> реакторного пространства в час. Продуктами становятся углеводороды с длинными цепочками, например, воски. Стоит отметить, что в барботажном реакторе происходит образование большего количества оксигенатов, по сравнению с трубчатым реактором и аналогичным катализатором. Преимуществами трехфазного реактора называют стоимость и изотермичность. Но из-за состояния катализатора происходит большее отравление сероводородом.

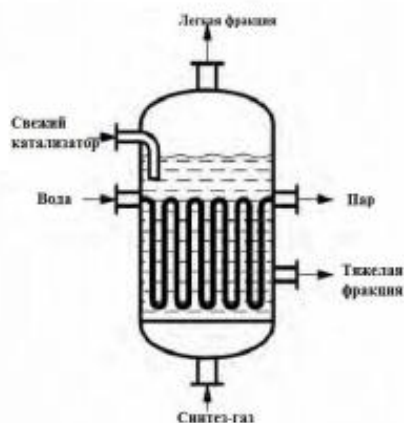


Рисунок 2. Реактор с суспендированным



Реакторы с псевдоожиженным слоем катализатора – это реакторы высокотемпературного синтеза Фишера-Тропша, продуктами реакции которого являются соединения бензиновой фракции, кроме того олефины (чаще всего содержащие 2-4 атома углерода в цепи), а также кислородсодержащие соединения. Процесс состоит в том, что частицы катализатора и синтез-газ быстро транспортируются в реактор, где движение замедляется, повышается концентрация катализатора. Концентрация в этой области остается постоянной. Вывод веществ, к которым относятся продукты, остатки синтез-газа и катализатор, осуществляется в верхней части реактора, откуда направляются в сепаратор для отделения катализатора [33]. Достоинством таких реакторов является теплоотвод. Так же присутствуют сложности при выведения реактора в рабочий режим и отделение катализатора от продуктов.

Холодильник с циркуляцией масла вмонтирован в реакционный аппарат. Равномерность циркуляции играет важную роль для катализатора, для которого любое нарушение в движении изменит условия синтеза. По таким изменениям можно судить о характере нарушения. Например, в продуктах реакции замечено повышение высокомолекулярных продуктов, скорее всего проблема заключается в забитых трубках холодильника.

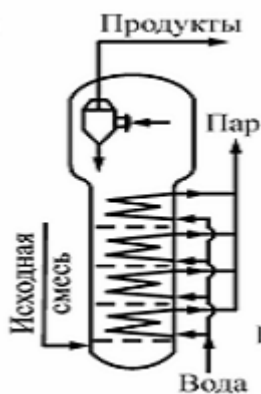


Рисунок 3. Реактор с псевдоожиженным слоем катализатора.

К катализатору реактора псевдоожиженного слоя выдвигается требование: обладание высокой устойчивостью к истиранию. Механическая прочность является критерием устойчивости для зерен катализатора, зачастую исключающий применение зарекомендовавших себя в неподвижном слое,

требуется разработка новых катализаторов. Существуют и другие технологические недостатки и ограничения реактора, связываемые с равномерностью контакта между газом и катализатором, катализаторной пылью, которую несколько сложно отделить, процессом оседания катализатора в реакторе и деактивацией катализатора продуктом побочных реакций - углеродом.

#### **1.4 Промышленное освоение синтеза Фишера-Тропша**

Родиной первых промышленных реакторов синтеза Фишера-Тропша становится Германия (Ruhchemie, 1935). Реактор с неподвижным слоем имел общую годовую мощность 100-120 тыс. тонн, а его продуктами были бензин (автомобильный занял около 72%), дизельное топливо, смазочные масла. Синтез-газ получался путем газификации угля.

ЮАР в 1955 году было запущено производство синтетических топлив компанией Sasol. Использовались реакторы с циркулирующим псевдоожиженным слоем (процесс – «Syntroleum»). В данный момент произошла замена на обычные реакторы с псевдоожиженным слоем (Sasol Advanced Synthol). Синтез-газ получается так же газификацией угля. Синтезируемые продукты – бензин, сжиженный газ, дизельное топливо.

Во всем мире сейчас функционируют всего четыре крупнотоннажных завода XTL 3-го поколения: Mossel Bay (ЮАР) - PetroSA, 1993, основанный на технологии Sasol; Bintulu (Малайзия) - Shell, 1993; Орух (Катар) - Sasol (совместно с Qatar Petroleum), 2006 и Pearl (Катар) - Shell, 2011. На действительно большую производительность: свыше 1,5 млн т в год, катарский завод вышел на рабочую производительность уже в 2009 г. В конце 2011 г. Shell завершила строительство в том же самом Катаре крупнейший в истории завод, изготавливающий синтетические топлива, производительностью 6 млн т в год [34]. Общее технологическое сходство для заводов третьего поколения - применение трехстадийной схемы с получением воска и дальнейшей гиперпереработкой. Различия проявляются в получении синтез-газа и

реакторах: для получения синтез-газа Sasol применяет парокислородную автотермическую конверсию, а Shell - технологию парциального окисления собственной разработки. Реакторы Фишера-Тропша у Sasol трехфазные, а у Shell - многотрубные реакторы со стационарным слоем катализатора [35].

### 3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

#### 3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования


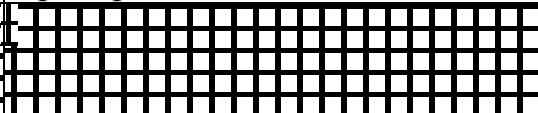

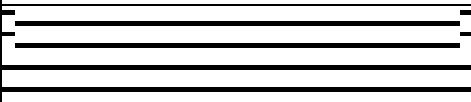
Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

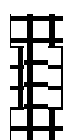
Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Целесообразно выбрать два наиболее значимых критерия: размер компании и отрасль, по которым будет производиться сегментирование рынка.

Таблица 5 – Карта сегментирования рынка

		Отрасль	
		Газодобывающие предприятия	Нефтегазодобывающие предприятия
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		



Sasol



Chevron



ExxonMobil



Oxford  
Catalyst

Как видно из таблицы 5, наиболее перспективным сегментом в отраслях газодобычи и нефтедобычи для формирования спроса является сегмент крупных и средних нефтедобывающих компаний.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. В настоящий момент в России можно выделить лишь два наиболее влиятельных предприятий-конкурентов в области разработок и производства катализаторов для получения синтетических углеводородов по методу Фишера-Тропша: АО «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза» (Иркутская область), ООО «ИНФРА» (г. Москва).

В таблице 6 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства катализаторов ФТ.

Таблица 6 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,09	3	4	4	0,27	0,36	0,36
2. Энергоэкономичность	0,15	5	4	5	0,75	0,6	0,75
3. Надежность	0,13	4	5	3	0,52	0,65	0,39
4. Безопасность	0,14	5	5	4	0,7	0,7	0,56
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,13	5	4	4	0,65	0,52	0,52
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	5	4	3	0,65	0,52	0,39
3. Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
4. Финансирование научной разработки	0,11	4	5	4	0,44	0,55	0,44
5. Срок выхода на рынок	0,07	3	3	4	0,21	0,21	0,28
Итого	1				4,44	4,36	3,94

Б<sub>ф</sub> – продукт проведенной исследовательской работы;

Б<sub>к1</sub> – «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза»;

Б<sub>к2</sub> – «ИНФРА».

Таким образом, на основании таблицы 9 можно сделать вывод, что разработанный в ходе исследовательской работы катализатор может составить серьезную конкуренцию уже имеющимся на российском рынке производителям. Главными преимуществами данной разработки является довольно высокая производительность и срок службы при относительно низкой цене.

### **3.1.3 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

На основе анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы был составлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица первого этапа SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Высокое качество получаемой продукции</p> <p>С2. Возможность дальнейшей переработки продуктов в синтетические моторные топлива</p> <p>С3. Экологичность получаемой продукции</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p> <p>С5. Тепловая энергия, получаемая как побочный продукт, может быть востребована на рынке</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Значительные потери исходного сырья при преобразовании газа в циклах химических превращений.</p> <p>Сл2. Проблемы с выделением и утилизацией тепла</p> <p>Сл3. Реализация проекта требует значительных инвестиций и сопряжена с длительным сроком окупаемости.</p> <p>Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Возможность привлечения инвестиций на проведение научно-исследовательских работ</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>		
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Техническая и технологическая сложность реализации научно-исследовательского проекта</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>		

На втором этапе SWOT-анализа строятся интерактивные матрицы, которые представлены в таблицах 8, 9, 10, 11.

Таблица 8 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	+	+	0	+	+
	B3	+	-	0	0	0

Таблица 9 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	0
	B2	-	-	-	0
	B3	0	0	+	0

Таблица 10 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	-	+
	У2	+	+	+	-	+
	У3	-	-	-	-	-

Таблица 11 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	-	+	-
	У3	-	-	+	+

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 12).



Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Высокое качество получаемой продукции</p> <p>С2. Возможность дальнейшей переработки продуктов в синтетические моторные топлива</p> <p>С3. Экологичность получаемой продукции</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p> <p>С5. Тепловая энергия, получаемая как побочный продукт, может быть востребована на рынке</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Значительные потери исходного сырья при преобразовании газа в циклах химических превращений.</p> <p>Сл2. Проблемы с выделением и утилизацией тепла</p> <p>Сл3. Реализация проекта требует значительных инвестиций и сопряжена с длительным сроком окупаемости.</p> <p>Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Возможность привлечения инвестиций на проведение научно-исследовательских работ</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Создание недорогого, конкурентоспособного способного железного катализатора для получения высококачественных синтетических жидких топлив</p>	<p>Ввиду значительных затрат на внедрение результатов НИР в промышленность и долгим сроком окупаемости проекта, возможно увеличение стоимости данной разработки</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Техническая и технологическая сложность реализации научно-исследовательского проекта</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Высокое качество и экологичность получаемой продукции, привлечение к работе высококвалифицированного персонала, эффективное использование побочно выделяющегося тепла может снизить влияние данных угроз</p>	<p>При задержках в поставках используемых материалов и одновременном развитии конкуренции технологии обогащения есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает</p>

## 3.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 13).

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы, консультанты СО, ЭЧ, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Патентный поиск	Бакалавр
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
	7	Проведение экспериментов	Бакалавр
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	10	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработка катализатора синтеза Фишера-Тропша	Руководитель, бакалавр
	12	Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант по ЭЧ
	13	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СО

Продолжение таблицы 13

Изготовление и испытание опытного образца	14	Получение опытного образца	Руководитель, бакалавр
	15	Лабораторные испытания опытного образца	Руководитель, бакалавр
Оформление комплекта документации по ВКР	16	Составление отчета	Бакалавр

### 3.2.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 14 – Морфологическая матрица для получения катализатора ФТ

	1	2	3
А. Катализатор	УДП порошок железа	УДП порошок железа	УДП порошок железа
Б. Связующее	Поливиниловый спирт	Поливинилпирролид он	Полиэтиленокси д
В. Материал баллонов	Металлические	Композитные	Композитные

### 3.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (11)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость

выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (12)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов занесены в таблицу 15.

Таблица 15 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнитель	Т <sub>р</sub> , раб. дн.			Т <sub>р</sub> , кал. дн.		
		t <sub>min</sub> , чел.-дн.			t <sub>max</sub> , чел.-дн.			t <sub>ож</sub> , чел.-дн.				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
1	Составление технического задания	0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	Р	0,2	0,2	0,2	1	1	1
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	Б	0,2	0,2	0,2	1	1	1
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	К <sup>1</sup>	0,2	0,2	0,2	1	1	1
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	К <sup>2</sup>	0,2	0,2	0,2	1	1	1
2	Выбор направления исследований	0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Р	0,5	0,5	0,5	1	1	1
		0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Б	0,5	0,5	0,5	1	1	1
3	Подбор и изучение материалов	6	6	6	11	11	11	8	8	8	Б	4	4	4	4	4	4
4	Патентный поиск	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	8,2	8,2	8,2	10	10	10
5	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	1	1	1
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	1	1	1
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Б	3,4	3,4	3,4	4	4	4
7	Проведение экспериментов	5	5	5	8	8	8	6,2	6,2	6,2	Б	6,2	6,2	6,2	8	8	8
8	Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,2	1	1	1
		3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Б	1,9	1,9	1,9	2	2	2
9	Оценка эффективности результатов	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2	2	2
		4	4	4	5	5	5	4,4	4,4	4,4	Б	2,2	2,2	3	3	3	3

10	Определение целесообразности проведения ВКР	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,2	1	1	1
		2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Б	1,2	1,2	1,2	1	1	1
11	Разработка катализатора Фицера-Троппа	7	7	7	9	9	9	7,8	7,8	7,8	Б	3,9	3,9	3,9	5	5	5
		3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2	2	2
12	Оценка эффективности производства и применения разработки	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	3,5	3,5	3,5	4	4	4
		2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	К <sup>1</sup>	1,2	1,2	1,2	2	2	2
13	Разработка СО	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	4,1	4,1	4,1	5	5	5
		2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	К <sup>2</sup>	1,2	1,2	1,2	2	2	2
14	Получение опытного образца	5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Р	2,7	2,7	2,7	3	3	3
		6	6	6	7	7	7	6,4	6,4	6,4	Б	3,2	3,2	3,2	4	4	4
15	Испытания опытного образца	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,2	1	1	1
		3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Б	1,9	1,9	1,9	2	2	2
16	Составление отчета	20	20	20	21	21	21	20,4	20,4	20,4	Б	20	20	20	25	25	25

Р – руководитель;

Б – бакалавр;

К<sup>1</sup> – консультант по экономической части;

К<sup>2</sup> – консультант по социальной ответственности.

### 3.2.4 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (13)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.





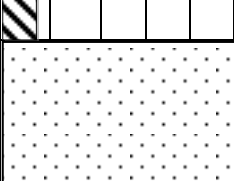







Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (14)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

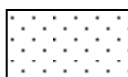
На основе таблицы 18 строится календарный план-график (приложение А). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения выпускной квалификационной работы.

Таблица 16 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб от	Вид работ	Исполнит ели	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апрель			май			ию нь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Разработка технического задания	руководи тель	4														
2	Выбор направления исследований	руководи тель	5														
3	Составление и утверждение технического задания	руководи тель	5														
4	Календарное планирование работ по теме	руководи тель	2														
5	Подбор и изучение материалов по теме	бакалавр	25														
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководи тель, бакалавр	11 18														
7	Проведение компьютерных расчетов	Руководи тель, бакалавр	3 5														
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководи тель, бакалавр	2 4														
9	Лабораторные испытания	бакалавр лаборант	3 3														
10	Оформление отчета	бакалавр	7														



Руководитель



Бакалавр



Лаборант

### **3.2.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.



### 3.2.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}, \quad (15)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;  $C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов;  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данного НТИ, представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., с НДС руб.			Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
УДП порошок железа	кг.	1	1	1	550	550	550	632	632	632
Баллон с $N_2$	шт.	1	1	1	3000	5896	5896	3450	6780	6780
Баллон с $H_2$	шт.	1	1	1	3500	6250	6250	4025	6875	6875
Баллон с CO	шт.	1	1	1	3500	6431	6431	4025	7396	7396
Поливиниловый спирт	кг.	1	0	0	510	0	0	587	0	0
Поливинил-пирролидон	кг.	0	1	0	0	2835	0	0	3260	0
Полиэтилен-оксид	кг.	0	0	1	0	0	400			460
Итого								12719	24943	22143

### 3.2.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для проведения экспериментальных работ

Расчет затрат на приобретение специального оборудования для проведения исследований приведены в таблице 18.

Таблица 18–Затраты на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизацион ных отчислений,,руб.
1.	Лабораторная каталитическая установка	1	3000000	187500
2.	Газовый хроматограф	1	1000000	100000
<b>Итого</b>				<b>287500</b>

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}}, \quad (16)$$

где  $C_{\text{перв}}$  – первоначальная стоимость, руб;  $T_{\text{пи}}$  – время полезного использования, год.

Результаты расчетов приведены в таблице 19.

### 3.2.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Для расчета основной заработной платы используем месячный оклад руководителя, консультанта ЭЧ, консультанта СО.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} , \quad (17)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_p , \quad (18)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;  $З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;  $Т_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн. (таблица 18).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} , \quad (19)$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

В таблице 19 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 19 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней выходные/праздничные дни:	118	118	118
Потери рабочего времени отпуск:	0	0	0
невыходы по болезни:	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247	247

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (20)$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от  $З_{\text{тс}}$ );  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $З_{\text{тс}}$ );  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 20

Расчет дополнительной заработной платы производится по формуле:

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы

Категория	$З_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб.	$З_{\text{доп}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель							
ППСЗ	23264,9	0,35	1,3	49903	2263	11	24891
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	23264,9	0,35	1,3	49903	2263	1,4	3168
Консультант СО							
ППС4	33162,9	0,35	1,3	71134	3226	1,4	4516

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$З_{\text{осн}}$ , руб.	$З_{\text{доп}}$ , руб.	$З_{\text{зн}}$ , руб.
Руководитель	24891	3734	28625
Консультант ЭЧ	3168	475	3643
Консультант СО	4516	677	5193

#### 3.2.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходом отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (21)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 20%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 24.

Таблица 22 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	24891	3734
Консультант ЭЧ	3168	475
Консультант СО	4516	677
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
<b>Итого:</b>	<b>7492,2</b>	

#### 3.2.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов

исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5), \quad (12)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{\text{нр}}$  допускается взять в размере 16%. Результаты расчета накладных расходов на НТИ приведены в таблице 25.

### 3.2.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	12719	24943	22143	Таблица 13
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	287500	287500	287500	Таблица 14
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	32575	32575	32575	Таблица 16
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4886	4886	4886	Таблица 16

5. Отчисления во внебюджетные фонды	7492,2	7492,2	7492,2	Таблица 18
6. Накладные расходы	55228	57183	56735	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	400400	414579	411331	Сумма ст. 1-6

На основании таблицы 24 можно сделать вывод, что основные затраты НТИ приходятся на специальное оборудование для проведения экспериментальных работ.

### 3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (23)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (24)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения

разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 24– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	3
Продолжение таблицы 26				
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	4
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	4
4. Энергосбережение	0,20	4	4	4
5. Надежность	0,25	4	5	5
6. Материалоемкость	0,15	5	3	3
ИТОГО	1	4,4	4,1	4

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \quad \text{и т.д.} \quad (25)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 25) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):



$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (26)$$

Таблица 25 –Сравнительная эффективность разработки

<b>№ п/п</b>	<b>Показатели</b>	<b>Исп.1</b>	<b>Исп.2</b>	<b>Исп.3</b>
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,51	1	0,89
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,1	4
3	Интегральный показатель эффективности	8,6	4,1	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2	0,9	1

Вывод: сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтительным является первый вариант исполнения, так как данный вариант исполнения является наиболее экономичным и ресурсоэффективным.

## 4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Выполнение выпускной квалификационной работы осуществлялось на лабораторной каталитической установке «Катакон». На данной установке проводились исследования каталитической активности железного катализатора Фишера-Тропша в процессе синтеза жидких углеводородов.

Объект исследования – железный катализатор, полученный методом электрического взрыва. Сырьё – синтез-газ ( $\text{H}_2:\text{CO} = 2:1$ ). Цель работы – исследование активности катализатора в процессе получения жидких углеводородов из монооксида углерода и водорода.

Лабораторная установка, хроматографический комплекс и персональный компьютер расположены в лабораторном помещении кафедры ХТТХК ТПУ. Рабочая зона оборудована системами отопления, водоснабжения, вентиляции воздуха, комбинированным освещением; соответствует.

### 4.1 Производственная безопасность

#### **Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования**

ГОСТ 12.0.003-74. Процесс на каталитической установке протекает при высоких температурах (до 400 °С) и следствием этого является то, что получаемые продукты находятся в жидком и газообразном состоянии. Это делает их более активными. Большинство ядовитых веществ попадает в организм человека через органы дыхания. Это опасно из-за большой всасывающей способности слизистой оболочки носа и дыхательной поверхности легких. Получаемые жидкие углеводороды содержат около 20 масс. % ароматических углеводородов (бензол, толуол и т.д.). Они относятся к ядовитым (токсичным) веществам. Помимо этого в состав выделяющихся газов входят непрореагировавшие водород и монооксид углерода.

ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Бензол по своему биологическому действию относится по характеру действия к канцерогенам. При непродолжительном вдыхании паров бензола не возникает немедленного отравления, если организм человека подвергается длительному воздействию бензола в малых количествах, последствия также могут быть очень серьёзными. В этом случае хроническое отравление бензолом может стать причиной лейкемии (рака крови) и анемии (недостатка гемоглобина в крови).

Толуол вызывает аналогичные изменения со стороны крови, но несколько слабее, чем бензол.

В воздухе кроме токсичных веществ содержится так называемая производственная пыль. Выделение пыли происходит при таблетировании и дроблении катализатора. Длительный контакт с производственной пылью в данном случае приводит к хроническому заболеванию легких – силикозу.

Поэтому важно знать, какая предельно допустимая концентрация этих веществ должна быть в воздухе, чтобы они не оказывали сильного влияния на организм человека. По определению, ПДК вещества в воздухе рабочей зоны – концентрация, которая при ежедневной работе без средств защиты в течении 8 часов или другой продолжительности, но не более 40 часов в неделю, в течении всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья.

Таблица 26 – Предельно допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны (ГН 2.2.5.1313-03)

Наименование	ПДК рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Примечание
Монооксид углерода	20	2	Образует карбоксигемоглобин, надолго уменьшая поступление кислорода
Бензол	5	2	Канцероген, обладает наркотическим действием

Толуол	50	3	Более слабый канцероген, чем бензол; пары при вдыхании также оказывают наркотическое действие
Бензин	100	3	При вдыхании вызывает наркотическое опьянение; содержит токсичные и канцерогенные вещества

ГОСТ 4.011–89 ССБТ. Средствами защиты от попадания на кожу вредных химических веществ служат резиновые перчатки, лабораторные халаты, шапочки, обувь. Для защиты дыхательных путей от действия вредных химических веществ служат специальные ватно-марлевые повязки, респираторы, противогазы. Для защиты слизистой оболочки глаз можно использовать специальные очки. Средством защиты от поражения вредными химическими веществами служит также точное соблюдение техники безопасности и инструкций к используемым веществам.

### **Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении испытаний**

Проанализируем факторы рабочей зоны на предмет выявления их вредных проявлений. В данном исследовании к факторам рабочей зоны относятся производственные метеоусловия, электромагнитные поля, производственное освещение, шумы, вибрации.

СанПиН 2.2.4.548–96. Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Метеорологические условия рабочей среды (микроклимат) оказывают влияние на процесс теплообмена и характер работы. Микроклимат характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения,

а также интенсивностью теплового излучения. Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям. Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения.

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Высокая влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре она усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению организма. Низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных органов работающего.

В помещении, где находится компьютер, средняя температура воздуха 22 °С, относительная влажность воздуха 55 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с. Ориентируясь на оптимальные и допустимые показатели микроклимата на рабочих местах (СанПиН 2.2.2.542-96), можно сделать вывод о том, что метеоусловия являются оптимальными, то есть обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакции терморегуляции и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности.

ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Спектр электромагнитного излучения (источником является компьютер) природного и техногенного происхождения, оказывающий влияние на человека как в условиях быта, так и в производственных условиях, имеет диапазон волн от тысяч километров (переменный ток) до триллионной доли миллиметра (космические энергетические лучи). Есть два источника электромагнитного излучения: монитор и системный блок.

Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека

может вызвать нарушение функционального состояния нервной и сердечнососудистой систем. Это выражается в повышенной утомляемости, снижении качества выполнения рабочих операций, изменение кровяного давления и пульса.

Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне. Время допустимого пребывания в рабочей зоне в часах составляет  $T = 50/E - 2$ . Работа в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м присутствие людей в рабочей зоне разрешается в течение 8 часов.

Особые требования к помещениям, в которых эксплуатируются компьютеры:

1. не допускается расположение рабочих мест в подвальных помещениях;
2. площадь на одно рабочее место должна быть не меньше  $6 \text{ м}^2$ , а объем – не менее  $20 \text{ м}^3$ ;
3. для повышения влажности воздуха в помещениях с компьютерами следует применять увлажнители воздуха, ежедневно заправляемые дистиллированной или прокипяченной питьевой водой. Перед началом и после каждого часа работы помещения должны быть проветрены.

СП 52.13330.2011. Наиболее важной областью оптического спектра электромагнитных излучений является видимый свет (излучение с длиной волны от 0,38–0,4 до 0,75–0,78 мкм). Он обеспечивает зрительное восприятие, дающее около 90 % информации об окружающей среде, влияет на тонус центральной и периферической нервной системы, на обмен веществ в организме, его иммунные и аллергические реакции, на работоспособность и самочувствие человека. Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги.

Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождаются снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его активности. К таким же последствиям приводит длительное пребывание в световой среде с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Работа, связанная с документами, требует хорошего освещения. Излишне яркий свет снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, уменьшает работоспособность, нарушает механизм сумеречного зрения. Воздействие чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты, катаракты и другие нарушения.

Гигиеническое нормирование искусственного и естественного освещения. Нормируемыми параметрами для систем искусственного освещения являются: величина минимальной освещенности  $L_{\text{доп}}$ , допустимая яркость в поле зрения  $L_{\text{доп}}$ , а также показатель ослепленности  $P$  и коэффициент пульсации  $K_p$  (СНиП 23–05–95).

СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум лабораторной установки – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, возникающих при механических колебаниях в упругой среде (твердой, жидкой или газообразной). Длительное воздействие шума снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок в действиях рабочего, снижается производительность труда. Воздействие шума приводит к появлению профессиональных заболеваний и может явиться причиной несчастного случая.

Органы слуха человека воспринимают звуковые колебания с частотой 16–20000 Гц. Колебания с частотой ниже 20 Гц (инфразвук) и выше 20000 Гц (ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на организм.

Для снижения шума в помещениях проводятся следующие основные мероприятия:

уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;  
звукопоглощение и звукоизоляция;  
установка глушителей шума;  
рациональное размещение оборудования.

ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрация лабораторной установки – процесс распространения механических колебаний в твердом теле. Вибрация по способу передачи телу человека подразделяется на общую (воздействие на все тело человека) и локальную (воздействие на отдельные части тела). При воздействии общей вибрации наблюдаются нарушения сердечной деятельности, расстройство нервной системы, спазмы сосудов, изменения в вестибулярном аппарате. Локальная вибрация, возникающая при работе с ручным механизированным инструментом (в данном случае это мышь), вызывает спазмы периферических сосудов, различные нервно-мышечные и кожно-суставные нарушения.

Частотный диапазон расстройств зрительных восприятий лежит между 60 и 90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок.

Для снижения вибрации используют следующие методы:

виброизоляция;

вибродемпфирование, под которым понимают превращение энергии механических колебаний в тепловую.

Важным для снижения опасного воздействия вибрации на организм человека является правильная организация труда и отдыха, постоянное медицинское наблюдение, лечебно-профилактические мероприятия.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах соответствуют требованиям Санитарных правил и нормативов «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый период года.

В лаборатории предусмотрены следующие нормы производственной санитарии:

Температура в помещении:



в холодный период (+15)-(+24)°С;

в тёплый период (+16)-(+27)°С.

Влажность воздуха в помещениях:

в холодный период – не более 75 %;

в тёплый период – не более 55-75 %.

Скорость движения воздуха:

в холодный период – 0,1-0,4 м/с;

в теплый период – 0,1-0,5 м/с.

## **4.2 Экологическая безопасность**

ГН 2.2.5.1313–03. Вредное воздействие установки распространяется главным образом на атмосферу. Для борьбы с загрязнением воздуха на каталитической установке следует использовать как можно меньшие значения расхода синтез-газа, так как выброс газообразных продуктов осуществляется напрямую в атмосферу.

Воздействие на гидросферу и литосферу отсутствует, так как слив вредных веществ и выброс твердых остатков отсутствует.

## **4.3 Электробезопасность.**

ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность установки должна обеспечиваться в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности являются:

оголенные части проводов или отсутствие изоляции;

отсутствие заземления;

замыкания;

статическое напряжение.

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия;

ограждения токоведущих частей;

применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;

применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;

применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;

использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

Для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измеряют напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов не ниже 2,5.

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79.

Все электрооборудование с напряжением свыше 36 В, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, должны быть надежно заземлены.

Для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники или другие доступные устройства. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается:

работать на неисправных электрических приборах и установках;

перегружать электросеть;

переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;

работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;

загромождать подходы к электрическим устройствам.

обо всех обнаруженных дефектах в изоляции проводов, неисправности рубильников, штепсельных вилок, розеток, а также заземления и ограждений следует немедленно сообщить электрику;

в случае перерыва в подаче электроэнергии электроприборы должны быть немедленно выключены;

категорически запрещается прикасаться к корпусу поврежденного прибора или токоведущим частям с нарушенной изоляцией и одновременно к заземленному оборудованию (другой прибор с исправным заземлением, водопроводные трубы, отопительные батареи), либо прикасаться к поврежденному прибору, стоя на влажном полу;

при поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор, которого касается пострадавший. Отключение производится с помощью отключателя или рубильника;

при невозможности быстрого отключения электроприбора необходимо освободить пострадавшего от токоведущих частей деревянным или другим не проводящим ток предметом источник поражения;

во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача.

#### **4.4 Пожарная безопасность.**

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

Лаборатория должна быть оснащена пожарными кранами (не менее одного на этаж) с пожарными рукавами. В каждом рабочем помещении должны быть в наличии огнетушители и песок, а в помещениях с огнеопасными и легковоспламеняющимися веществами – дополнительные средства пожаротушения.

В помещении лаборатории на видном месте должен быть вывешен план эвакуации сотрудников в случае возникновения пожара.

Распоряжением по лаборатории из числа сотрудников назначается группа (3 – 5 человек), которая организует все противопожарные мероприятия, получив инструктаж местной пожарной команды.

Все сотрудники лаборатории должны быть обучены правилам обращения с огне- и взрывоопасными веществами, газовыми приборами, а также должны уметь обращаться с противопогазом, огнетушителем и другими средствами пожаротушения, имеющимися в лаборатории.

В помещениях лаборатории и в непосредственной близости от них (в коридорах, под лестницами) запрещается хранить горючие материалы и устанавливать предметы, загромождающие проходы и доступ к средствам пожаротушения.

Курить разрешается только в отведенном и оборудованном для этой цели месте.

Без разрешения начальника лаборатории и лица, ответственного за противопожарные мероприятия, запрещается установка лабораторных и нагревательных приборов, пуск их в эксплуатацию, переделка электропроводки.

Запрещается эксплуатация неисправных лабораторных и нагревательных приборов.

После окончания работы необходимо отключить электроэнергию, закрыть газовые баллоны и воду во всех помещениях.

Каждый сотрудник лаборатории, заметивший пожар, задымление или другие признаки пожара обязан:

1. немедленно вызвать пожарную часть по телефону;
2. принять меры по ограничению распространения огня и ликвидации пожара;

3. поставить в известность начальника лаборатории, который в свою очередь должен известить сотрудников, принять меры к их эвакуации и ликвидации пожара.

Для ликвидации небольших очагов пожара на территории объекта имеются первичные средства тушения пожара – огнетушители, ящики с песком, асбестовые одеяла (кошмы).

#### **4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

##### **Анализ возможных чрезвычайных ситуаций при работе в лаборатории**

ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Химический взрыв – взрыв, возникающий за счет протекания химической реакции веществ или разложения вещества. Характеризуется значительной разрушительной мощностью и поражающей способностью. Может приводить к пожару в лаборатории. К химическому взрыву может привести накопление горючих газов (в первую очередь, водорода и монооксида углерода) до взрывоопасных концентраций.

При работе со взрывчатыми веществами необходимо соблюдать меры безопасности. В данном случае необходимо не допускать разгерметизации установки, чтобы горючие газы не смешивались с воздухом. Для этого требуется периодически опрессовывать установку инертным газом и не допускать разбора или разъединения узлов во время работы.

Физический взрыв – взрыв, возникающий за счет быстрого разрушения емкостей или из-за быстрого выделения тепла в какой-либо точке. Обычно (но не всегда) имеет меньшую мощность, чем химический и меньшие разрушительные последствия. К физическому взрыву может привести неконтролируемое повышение давления в герметичной системе (например, при закупоривании отводных трубок высоковязкими веществами или катализаторным шламом). Также к физическому взрыву может привести механическое повреждение баллона со сжатым газом.

Пожар – неконтролируемое возгорание в лаборатории. Может привести к полному уничтожению всей лаборатории. К пожару может привести воспламенение синтез-газа вследствие разгерметизации установки.

Термический ожог – воздействие на кожу сильно нагретых материалов. К термическому ожогу может привести неосторожная работа с нагревательными приборами.

Отравление – попадание в организм токсичного вещества. К отравлению может привести попадание в воздух монооксида углерода или разлив жидких продуктов синтеза, содержащих ароматические углеводороды.

### **Меры по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций**

ГОСТ Р 22.0.01-94. В целях обеспечения надежности и безопасности работы, предусматривается ряд мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение технологического процесса:

- герметичность арматуры оборудования и трубопроводов;
- автоматизированный контроль исследуемого процесса;
- оснащение установки сигнализацией, реагирующей на резкое повышение или понижение давления и температуры;
- продувка системы инертным газом пуском или ремонтом;
- наличие подъездов для пожарной техники;
- оснащение лабораторного помещения вытяжкой.

Вода – наиболее доступное средство для тушения пожаров в лаборатории. Для тушения небольших очагов пламени можно взять воду из ближайшего водопроводного крана. При необходимости подачи большого количества воды в зону очага горения пользуются внутренним пожарным водопроводом (пожарный кран). Вода применяется для тушения твердых горючих материалов – дерева, бумаги, резины, тканей, одежды, а также хорошо растворяющихся в воде горючих жидкостей – ацетона, низших спиртов, органических кислот. Эффективность тушения пожара водой повышается при подаче ее в зону

горения в виде распыленных струй. Водой нельзя тушить электрооборудование и электропроводку, находящиеся под напряжением, вещества, способные вступить с водой в химическую реакцию.

Асбестовое полотно применяют для тушения веществ и материалов, горение которых не может происходить без доступа воздуха, но только в тех случаях, когда площадь горения не велика.

Сухой песок рекомендуется применять при загорании небольших количеств ГЖ, ЛВЖ и твердых веществ, в том числе тех, которые нельзя тушить водой. В соответствии с нормами противопожарной безопасности, наличие песка обязательно в каждом лабораторном помещении. Песок хранят в ящиках, снабженных совком.

Для тушения твердых и жидких веществ, не вступающих во взаимодействие с водой, и в первую очередь – для тушения нефтепродуктов в лаборатории можно использовать воздушно-пенные огнетушители ОВП-10.

Порошковые огнетушители (ОП-5, ОП-10) являются одними из самых эффективных средств пожаротушения. Они не повреждают оборудование, нетоксичны и неэлектропроводные и предназначены для тушения твердых веществ, жидких веществ (в том числе ГЖ и ЛВЖ), газообразных веществ, электропроводов и электрооборудования, находящихся под напряжением до 1000 вольт.

#### 4.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При выполнении научно-исследовательской работы необходимо следовать требованиям ТК РФ. Согласно источнику, необходимо проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Необходимо руководствоваться источником, если работа предполагает использование некоторых мер предосторожности и средства индивидуальной защиты.

Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение и проверять знания работников





## ЛИТЕРАТУРА

1. Печуро Н. С., Капкин В. Д., Песин О. Ю. Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа // М.: Химия. – 1986;
2. Лapidус А. Л. и др. Биметаллические кобальтовые катализаторы синтеза углеводородов из СО и Н<sub>2</sub> // Успехи химии. – 2005. – Т. 74. – №. 6. – С. 634-645;
3. Фальбе Ю. Химические вещества из угля // М.: Химия. – 1980. – Т. 616.;
4. Panagiotopoulou P.A., Kondarides D.I., Verykios X.E. Mechanistic aspects of the selective methanation of CO over Ru/TiO<sub>2</sub> catalyst // Catal. Today. - 2012. - №81. - С.138–147.
5. Karelovic A.P., Ruiz P.T. Mechanistic study of low temperature CO<sub>2</sub> methanation over Rh/TiO<sub>2</sub> catalysts // J. Catal. - 2013. - №13. - С. 141-153.
6. Senanayake S.D., Evans J.S., Agnoli S.M., Barrio L.A., Chen T.L., Hrbek J.S., Rodriguez J.A. Water-gas shift and CO methanation reactions over Ni-CeO<sub>2</sub>(111) catalysts // Top. Catal. - 2011. - №54. - С. 34-41.
7. Jenewein B.K., Fuchs M., Hayek K. The CO methanation on Rh/CeO<sub>2</sub> and CeO<sub>2</sub>/Rh model catalysts: A comparative study // Surf. Sci. - 2003. - №53. - С. 364-369.
8. Williams C.T., Black C.A., Weaver M.J., Takoudis C.G. Adsorption and hydrogenation of carbon monoxide on polycrystalline rhodium at high gas pressures // J. Phys. Chem. B. - 2000. - №101. - С.74-83.
9. Bulushev D.A., Froment G.F. Drifts study of the stability and reactivity of adsorbed CO species on a Rh/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst with a very low metal content // J. Mol. Catal. A. - 2000. - №39. - С. 63-72.
10. Izquierdo U.F., Barrio V.L., Bizkarra K.A., Gutierrez A.M., Arraibi J.R., Gartzia L.M., Bañuelos J.K., Lopez-Arbeloa I.A., Cambra J.F. Ni and Rh-Ni catalysts supported on zeolites for hydrogen and syngas production by biogas reforming processes // Chem. Eng. J. - 2014. - №38. - С. 178-188.

11. Jacquemin M.S., Beuls A.M., Ruiz P.N. Catalytic production of methane from CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> at low temperature: Insight on the reaction mechanism // Catal. Today. - 2010. - №57. - C.62–66.
12. Ojeda M.A., Nabar R.M., Nilekar A.U., Ishikawa A.K., Mavrikakis M.S., Iglesia E.D. CO activation pathways and the mechanism of Fischer-Tropsch synthesis // J. Catal. - 2010. - №73. - C. 287-297.
13. Bundhoo A., Schweicher J., Frennet A., Kruse N. Chemical transient kinetics applied to CO hydrogenation over a pure nickel catalyst // J. Phys. Chem. C. - 2009. - № 139. - C. 31-39.
14. Nawdali M.A., Bianchi D.S. The impact of the Ru precursor on the adsorption of CO on Ru/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Amount and reactivity of the adsorbed species // Appl. Catal. - 2002. - №231. - C. 45-54.
15. Gual A.M., Godard C.L., Castillon S.A., Curulla-Ferre D.K., Claver C.N. Colloidal Ru, Co and Fe-nanoparticles. Synthesis and application as nanocatalysts in the Fischer-Tropsch process // Catal. Today. - 2012. - №183. - C. 154-171.
16. Vendelbo S.B., Johansson M.A., Mowbray D.J., Andersson M.P., Abild-Pedersen F.A., Nielsen J.H., Norskov J.K., Chorkendorff I.N. Self blocking of CO dissociation on a stepped ruthenium surface // Top. Catal. - 2010. - № 53. - C. 357-364.
17. Pirola C.J., Scavini M.A., Galli F.M., Vitali S.L., Comazzi A.A., Manenti F.I., Ghigna P.N. Fischer-Tropsch synthesis: EXAFS study of Ru and Pt bimetallic Co based catalysts // Fuel. - 2014. - №32. - C. 62-70.
18. Christensen J.M., Medford A.J., Studt F., Jensen A.D. High pressure CO hydrogenation over bimetallic Pt-Co catalysts // Catal. Lett. - 2014. - № 43. - C. 77-82.
19. Wang C.J., Zhao H.A., Wang H.K., Liu L.A., Xiao C., Ma D.I. The effects of ionic additives on the aqueous-phase Fischer-Tropsch synthesis with a ruthenium nanoparticle catalyst // Catal. Today. - 2012. - № 183. - C. 143-153.

20. Bambal A.S., Guggilla V.S., Kugler E.L., Gardner T.H., Dadyburjor D.B. Poisoning of a silica-supported cobalt catalyst due to presence of sulfur impurities in syngas during Fischer-Tropsch synthesis: Effects of chelating agent // *Ind. Eng. Chem. Res.* - 2014. - №53. - C.46-57. 117
21. Wang G.I., Zhang K.A., Liu P.C., Hui H.N., Tan Y.A. Synthesis of light olefins from syngas over Fe-Mn-V-K catalysts in the slurry phase // *J. Ind. Eng. Chem.* -2013. - №19. - C . 61-65.
22. Xu J.D., Zhu K.T., Weng X.F., Weng W.Z., Huang C.J., Wan H.L. Carbon nanotube-supported Fe-Mn nanoparticles: A model catalyst for direct conversion of syngas to lower olefins // *Catal. Today.* - 2013. - №15. - C. 86-94.
23. Shi B.A., Wu L.B., Liao Y.K., Jin C.H., Montavon A.S. Explanations of the formation of branched hydrocarbons during Fischer-Tropsch synthesis by alkylidene mechanism // *Top. Catal.* - 2014. - №57. - C. 51-59.
24. Pendyala V.R., Shafer W.D., Jacobs G.A., Davis B.H. Fischer-Tropsch synthesis: Effect of reaction temperature for aqueous-phase synthesis over a platinum promoted Co/alumina catalyst // *Catal. Lett.* - 2014. - №44. - C. 88-95.
25. Jermwongratanachai T/A., Jacobs G.K., Shafer W.D., Pendyala V.R., Ma W.I., Gnanamani M.K., Hopps S.O., Thomas G.A., Kitiyanan B.A., Khalid S. E. Fischer-Tropsch synthesis: TPR and XANES analysis of the impact of simulated regeneration cycles on the reducibility of Co/aluminacatalysts with different promoters (Pt, Ru, Re, Ag, Au, Rh, Ir) // *Catal. Today.* - 2014. - №28. - C. 15-21.
26. Ning W.A., Yang S.H., Chen H.P., Yamada M.O. Influences of K and Cu on coprecipitated Fe-Zn catalysts for Fischer-Tropsch reaction // *Catal. Commun.* - 2013. -№39. - C. 74-77.
27. Shimura K.H., Miyazawa T.A., Hanaoka T.S., Hirata S.A. Factors influencing the activity of Co/Ca/TiO<sub>2</sub> catalyst for Fischer - Tropsch synthesis // *Catal. Today.* - 2014. - №32.- C. 2-10. 118
28. Bezemer G.L., Bitter J.H., Kuipers H.E., Oosterbeek H.E., Holeywijn J.E., Xu X., Kapteijn F., Van Dillen A.J., de Jong K.P. Cobalt particle size effects in

the Fischer - Tropsch reaction studied with carbon nanofiber supported catalysts // J. Am. Chem. Soc. - 2006. - №28. - №10. - С.56-64.

29. Azzam K.E., Jacobs G.A., Ma W.S., Davis B.H. Effect of cobalt particle size on the catalyst intrinsic activity for Fischer-Tropsch synthesis // Catal. Lett. - 2014. - №44. - С. 89-94.

30. Khodakov A.Y., Chu W.O., Fongarland P.E // Chem. Rev. - 2007. - 7. 92-104. 52. Dry M.E. // J. Chem. Technol. Biotechnol. - 2001. - №77. - С.43-50.

31. Oukaci R.O // Proceedings of the 9th Annual World XTL Summit. - 2008. - №56. - С. 43.

32. Огаладжи Ч.Ч., Анищенко О.В // Современные наукоемкие технологии. - 2014. - №2. - С. 103-103.

33. Хасин А.А. // Российский химический журнал. - 2003. - № 6. - С. 36-47.

34. Jager B.O. // AIChE National Spring Meeting. - 2015. - №45. - С. 36.

35. Peter M. E. Greener Fischer-Tropsch Processes // Weinheim, Germany: Wiley-VCH. - 2013. - № 8. - С.72.

36. Лapidус А.Л., Крылова А.Ю. // Материалы научно-технического совета ОАО «Газпром». - 2001. - №11. - С. 23-25.

37. Лapidус А.Л., Елисеев О.Л. // Газохимия. - 2008. - № 1. - С. 26-30.

